

INDEKS KERENTANAN EKOSISTEM TERUMBU KARANG TERHADAP TUMPAHAN MINYAK: KASUS PULAU PRAMUKA DAN PULAU BELANDA DI KEPULAUAN SERIBU

CORAL REEF ECOSYSTEM VULNERABILITY INDEX TO OIL SPILL: CASE OF PRAMUKA ISLAND AND BELANDA ISLAND IN SERIBU ISLANDS

Noveldesra Suhery^{1*}, Ario Damar², dan Hefni Effendi²

¹Sekolah Pascasarjana Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, FPIK-IPB

²Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK-IPB, Bogor

*E-mail: noveldesra@gmail.com

ABSTRACT

Vulnerability analysis is one of the methods for determining effective management of coastal and marine resources. Seribu islands potentially affected due to oil spills. The oil spills incident in this area caused by shipwreck from traffic on Tanjung Priok port and ALKI 1, as well as accident of petroleum exploration and exploitation. At least, oil spills in Seribu Islands have been recorded since 2003, 2004, 2006, 2007 and 2008. This study aims to calculate the vulnerability index of Pramuka island and Belanda island in the Seribu Islands. This research was conducted by using a theoretical approach of vulnerability (V), which is a function of exposure (E), sensitivity (S) and adaptive capacity (AC). The parameters in exposure category are tidal type, tidal range, wave height, substrat type, and water depth. Parameters in sensitivity category are growth type of reef, slope, protected ecosystem, coverage percentage, coral density, protected species, and fish abundance. Parameters in adaptive capacity are oil spill contingency system, conservation institution, community response, and economic dependence. Data of each parameter were transformed into a score ranging from 1 to 5. The formula of vulnerability index using addition and subtraction model where; $V = E + S - AC$. The results indicate that Seribu Islands have vulnerability status from moderate to high, which 4.15 for Pramuka island and 6.39 for Belanda island.

Keywords: *vulnerability index, Seribu islands, coral reef, oil spill*

ABSTRAK

Salah satu metode untuk menentukan pengelolaan yang efektif bagi sumberdaya pesisir dan lautan adalah analisis kerentanan. Kepulauan Seribu berpotensi terdampak akibat tumpahan minyak yang bersumber dari kecelakaan kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Priok dan jalur ALKI I, dan kecelakaan pada operasi eksplorasi-eksploitasi minyak bumi. Setidaknya telah tercatat kejadian tumpahan minyak memasuki kawasan Kepulauan Seribu sejak 2003, 2004, 2006, 2007 dan 2008. Penelitian ini bertujuan menghitung indeks kerentanan di Pulau Pramuka dan Pulau Belanda, Kepulauan Seribu. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan teori kerentanan, dimana kerentanan (*vulnerability/V*) merupakan fungsi dari keterpaparan (*exposure/E*), kepekaan (*sensitivity/S*), dan kapasitas adaptif (*adaptive capacity/AC*). Parameter dalam kategori *exposure* antara lain: tipe pasang surut, tunggang pasang, tinggi gelombang, tipe substrat dan kedalaman habitat. Parameter dalam kategori *sensitivity* yaitu: tipe pertumbuhan terumbu karang, kelandaian, status perlindungan, persentase tutupan, kerapatan, spesies dilindungi, dan kelimpahan ikan. Parameter dalam kategori *adaptive capacity* yaitu: perangkat penanganan tumpahan minyak, kelembagaan konservasi, respon masyarakat dan ketergantungan ekonomi. Data per parameter untuk masing-masing lokasi ditransformasi menjadi nilai skor yang berkisar antara 1 hingga 5. Formula indeks kerentanan yang digunakan adalah model penjumlahan dan pengurangan dimana $V = E + S - AC$. Hasil perhitungan indeks kerentanan di Kepulauan Seribu mengindikasikan status kerentanan sedang hingga tinggi dengan nilai indeks 4,15 untuk Pulau Pramuka dan 6,39 untuk Pulau Belanda.

Kata kunci: indeks kerentanan, kepulauan Seribu, terumbu karang, tumpahan minyak

I. PENDAHULUAN

Kerusakan terumbu karang dapat disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, seperti pencemaran minyak, sedimentasi, pencemaran panas, sampah dan pencemaran nutrisi, penangkapan ikan yang merusak, pemanfaatan berlebihan, dan kerusakan dari aktivitas wisata (IPIECA/IMO, 1994; Moberg and Folke, 1999; McClanahan *et al.*, 2002; Dahuri *et al.*, 2008). Faktor alamiah yang juga dapat merusak terumbu karang, yaitu: tsunami, gempa bumi, pemanasan global, serta ledakan populasi bintang laut berduri (*Acanthaster planci*) (McClanahan *et al.*, 2002; Dahuri *et al.*, 2008).

Tumpahan minyak merupakan salah satu bentuk pencemaran di perairan yang dapat merusak lingkungan. Ekosistem pada terumbu karang sangat terancam oleh pencemaran minyak (Loya and Rinkevich, 1980; IPIECA, 1992; Sloan, 1993; Haapkyla *et al.*, 2007; NOAA, 2010). Menurut IPIECA (1992) tumpahan minyak di laut dapat memberikan paparan pada terumbu karang melalui minyak yang mengapung pada permukaan air dan minyak yang tenggelam. Minyak yang mengapung pada permukaan air akan mengganggu organisme yang hidup pada permukaan perairan, meningkatkan suhu perairan, menghalangi intensitas cahaya matahari dan pertukaran gas dari atmosfer. Padahal suhu, cahaya matahari, serta kandungan oksigen merupakan faktor penting untuk kelangsungan hidup terumbu karang (Nybakken, 1992; Nontji, 2005). Sementara itu, minyak yang tenggelam akan terakumulasi di dalam sedimen, pasir dan bebatuan di pantai yang akan mengganggu organisme interstitial maupun organisme intertidal. Endapan minyak di substrat dasar tersebut dapat menyebabkan kematian, mempengaruhi tingkah laku, reproduksi, dan pertumbuhan perkembangan hewan yang mendiami daerah tersebut.

Pengukuran kondisi suatu ekosistem merupakan tahapan yang sangat penting dalam pengelolaan. Analisis kerentanan

merupakan salah satu metode untuk menentukan strategi pengelolaan bagi sumberdaya pesisir dan lautan. Kerentanan merupakan kecenderungan suatu entitas mengalami kerusakan (SOPAC, 2005). Kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak merupakan kecenderungan rusaknya ekosistem terumbu karang akibat gangguan dari tumpahan minyak. Kerusakan ekosistem terumbu karang akan berdampak terhadap kehidupan manusia (Hughes *et al.*, 2005). Kerentanan suatu entitas akibat gangguan suatu *stressor* akan berbeda dengan kerentanan entitas tersebut dengan gangguan *stressor* lainnya, begitu pula kerentanan entitas yang berbeda akibat gangguan *stressor* yang sama akan berbeda pula, sebagaimana kajian kerentanan yang dilakukan oleh Fabricius *et al.* (2007); Tahir *et al.* (2009); Cinner *et al.* (2011); Farhan and Lim (2012); Kurniawan *et al.* (2016).

Penelitian terdahulu tentang kerentanan terumbu karang pada umumnya dikaitkan dengan isu perubahan iklim dan juga pemanasan global (Fabricius *et al.*, 2007). Penelitian terdahulu mengenai kerentanan terumbu karang terhadap tumpahan minyak secara langsung menentukan tingkat kerentanan (Gundlach and Hayes, 1978; Sloan, 1993; Halpren *et al.*, 2007) namun tidak diketahui parameter apa saja yang menyusun tingkat kerentanan tersebut. Kajian tinjauan dampak tumpahan minyak terhadap terumbu karang (Loya and Rinkevich, 1980; IPIECA, 1992; Sloan, 1993; Haapkyla *et al.*, 2007; NOAA, 2010) menunjukkan berbagai dampak terhadap terumbu karang, namun hasil kajian yang terbaru mengkonfirmasi dampak yang merusak dan merugikan minyak terhadap terumbu karang (Haapkyla *et al.*, 2007). Berbagai penelitian menunjukkan kerusakan yang signifikan akibat paparan minyak dan *dispersant* terhadap koloni karang dan larva karang (seperti: Loya and Rinkevich 1980; DeLeo *et al.*, 2015). Respon stress terumbu karang yang terpapar oleh minyak menurut Fuick *et al.* (1984); Hawker and Connel (1992) in Sloan (1993) diantara-

nya adalah: kematian jaringan lokal (*necrosis*), gangguan respon makan, gangguan retraksi polip, gangguan kemampuan pembersihan sedimen, gangguan partum-buhan (penurunan laju kalsifikasi), kerusakan gonad (penurunan kesuburan), kematian larva, gangguan penempelan larva, kerusakan *Coenosarc* (jaringan di polip), *bleaching* ledakan zooxanthellae, penurunan produksi zooxanthellae, dan *muscle atrophy* (terhentinya pertumbuhan otot).

Kepulauan Seribu memiliki kawasan ekosistem terumbu karang yang berpotensi terdampak akibat terjadi tumpahan minyak. Kejadian tumpahan minyak di wilayah ini bersumber dari kecelakaan kapal yang keluar masuk Pelabuhan Tanjung Priok dan jalur ALKI I (Alur Laut Kepulauan Indonesia) terutama kecelakaan kapal tanker, kecelakaan pada operasi eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi di sekitar wilayah Kepulauan Seribu. Kejadian tumpahan minyak yang memasuki kawasan Kepulauan Seribu tercatat pada Desember 2003, April 2004 dan Oktober 2004 (DEPHUT, 2004). Pada Desember 2003 tumpahan minyak mencemari 78 dari 87 pulau yang masuk kawasan Taman Nasional. Pada 24 April 2004 tumpahan minyak mencemari 37 pulau, selang beberapa minggu tercatat kembali tumpahan minyak ditemukan di sebelah timur laut Pulau Pramuka sampai Pulau Peniki. Tiga hari setelah itu tumpahan minyak ditemukan di Pulau Kelapa. Pada Oktober 2004 gumpalan *tar ball* setebal 4-5 cm membentuk hamparan 1-2 kilometer di sekitar Pulau Kotok. Kemudian tercatat kembali kejadian tumpahan minyak Februari 2006, Juni 2007 dan Oktober 2008 (Estradivari *et al.*, 2009). Tumpahan minyak yang terjadi pada bulan Juni 2007 mencemari perairan beberapa pulau meliputi Pulau Kotok Besar, 20 mil di utara Ancol, Jakarta Utara, sampai ke Pulau Harapan, 10 mil di timur laut Pulau Kotok. Gumpalan minyak mengotori pantai-pantai kawasan wisata maupun permukiman di 20 pulau di kawasan tersebut. Dalam catatan BPMigas (2010) kejadian tumpahan minyak di kawasan Kepulauan

Seribu akibat kecelakaan operasi minyak dan gas bumi tercatat setidaknya tiga kali kejadian 2003, 2004 dan 2007 dengan tiga sumber yang berbeda.

Catatan sejarah ini membuktikan bahwa Kepulauan Seribu terus dibayangi oleh ancaman pencemaran akibat tumpahan minyak. Hal ini perlu mendapat perhatian yang serius. Kecelakaan kapal dan kecelakaan operasi migas tidak dapat diprediksi, namun selalu memiliki kemungkinan untuk terjadi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah mengetahui kondisi kerentanan sumberdaya yang akan terdampak. Karena pengelolaan kerentanan merupakan bagian kritikal dari setiap strategi pembangunan berkelanjutan (SOPAC, 2005).

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak di Pulau Pramuka dan Pulau Belanda, Kepulauan Seribu. Penelitian ini tidak mengkaji secara spesifik dampak langsung tumpahan minyak terhadap organisme karang, namun analisis kerentanan yang dibangun bersifat menyusun parameter yang menyebabkan kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak yang bermanfaat untuk menyusun upaya-upaya pengelolaan yang efektif. Penelitian ini menggunakan pendekatan teori kerentanan. Dalam teori kerentanan (*vulnerability*), kerentanan secara umum merupakan fungsi dari keterpaparan (*exposure*), kepekaan (*sensitivity*) dan kapasitas adaptif (*adaptive capacity*) (Turner *et al.*, 2003; Schröter *et al.*, 2005; Adger, 2006; De Lange *et al.*, 2006; De León, 2006; Schallier *et al.*, 2013).

II. METODE PENELITIAN

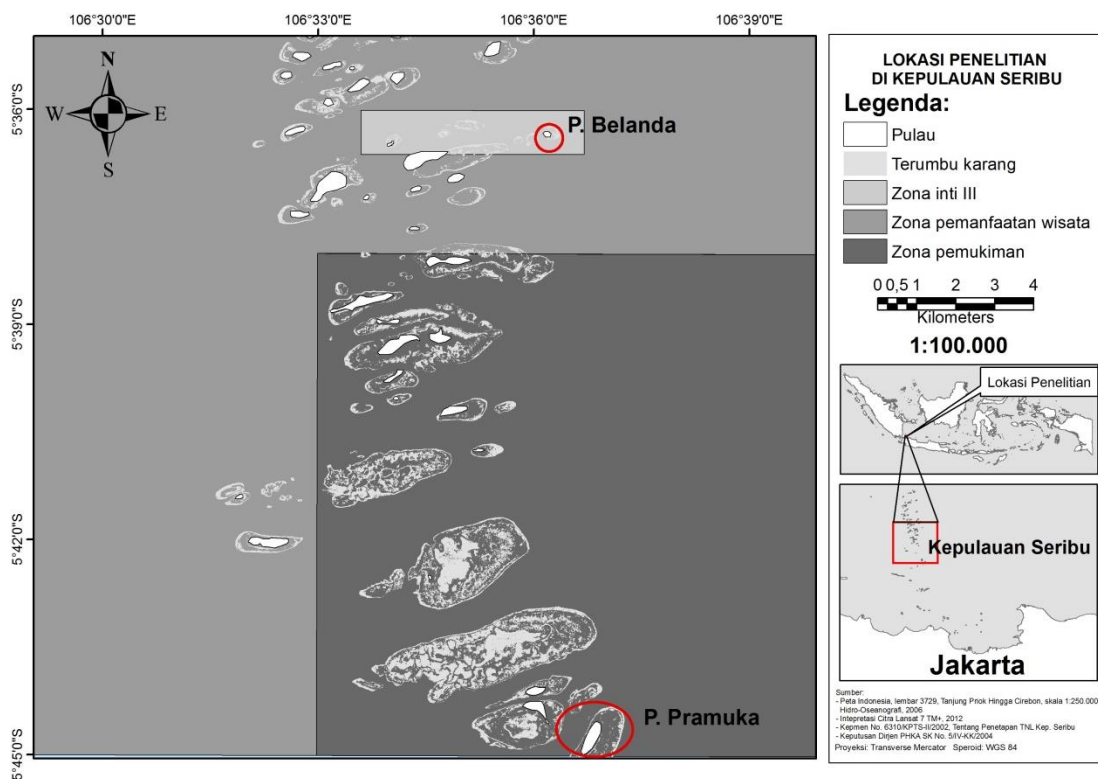
2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengangkat studi kasus untuk dua pulau di Kepulauan Seribu, yaitu Pulau Pramuka dan Pulau Belanda. Pulau Pramuka mewakili pulau berpemukiman dengan aktivitas pemanfaatan ekosistem terumbu karang untuk perikanan dan wisata.

Pulau Belanda merupakan bagian dari zona inti Taman Nasional Kepulauan Seribu. Pulau ini menggambarkan kondisi terumbu karang yang terlindungi dari semua aktivitas manusia dan merupakan pulau tidak berpenduduk. Pengamatan data ekosistem terumbu karang dilakukan satu kali pada masing-masing satu stasiun pengamatan. Penetapan stasiun pengamatan berdasarkan *purposive sampling*, dimana stasiun tersebut merupakan titik lokasi yang direkomendasikan oleh Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu yang diketahui kondisi ekosistem terumbu karangnya berada dalam kondisi baik. Hal ini dilakukan untuk menilai kerentanan dalam skenario terburuk (semakin baik kondisi terumbu karang, semakin sensitif terhadap tumpahan minyak). Peta lokasi penelitian disampaikan pada Gambar 1.

Pengumpulan data di lapangan dilakukan pada September 2015. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder. Data primer

berupa kondisi sosial-ekologi di wilayah penelitian yang didapatkan melalui pengamatan dan pengukuran lapangan, diantaranya: tinggi gelombang, tipe substrat dasar, kedalaman habitat. Pengumpulan data primer untuk mengetahui persen penutupan karang, dan kerapatan terumbu karang di wilayah penelitian dilakukan dengan metode foto transek 50x50 cm² dengan panjang transek 50 m. Pengolahan data menggunakan *software CPCe (Coral Point Count with Excel extension)* (Kohler and Gill, 2006). Pengamatan kelimpahan ikan menggunakan metode *underwater visual census* (English *et al.*, 1994) pada transek yang sama dengan pengamatan terumbu karang. Data keberadaan spesies dilindungi, serta data terkait sosial ekonomi dikumpulkan dengan metode wawancara secara *purposive sampling*. Data sekunder yang digunakan yaitu: data pasang surut, dan batimetri yang bersumber dari Dishidros TNI-AL (2013).



Gambar 1. Lokasi penelitian di Pulau Pramuka dan Pulau Belanda, Kepulauan Seribu.

2.2. Pengelompokan dan Penentuan Parameter

Masing-masing kategori penyusun indeks kerentanan baik *exposure*, *sensitivity* maupun *adaptive capacity* dijabarkan menjadi parameter-parameter. Parameter ini disusun berdasarkan pendekatan pustaka. Mengingat adanya dua modus utama paparan tumpahan minyak terhadap ekosistem terumbu karang (IPIECA, 1992) dan karakter kejadian tumpahan minyak yang bersifat kecelakaan maka parameter yang digunakan untuk menilai indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak akan berbeda dengan kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap jenis polutan lainnya.

2.2.1. Keterpaparan (*Exposure*)

Keterpaparan (*exposure*) menjelaskan bagaimana terumbu karang terpapar oleh minyak. Komponen ini digambarkan dengan kondisi oseanografi yang menghantarkan tumpahan minyak hingga memberikan paparan ke terumbu karang. Komponen ini diturunkan menjadi beberapa parameter yaitu: tipe pasang surut, tunggang pasang, tinggi gelombang dan kedalaman habitat terumbu karang. Selain itu, diperlukan parameter untuk menilai seberapa lama minyak yang terdeposit di dasar perairan akan tertahan, hal ini diwakili oleh parameter tipe substrat. Penjabaran masing-masing parameter disampaikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi parameter dan kriteria penilaian keterpaparan (*exposure*).

Parameter	Deskripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
Keterpaparan (<i>Exposure</i>)	Faktor yang memberikan/meningkatkan keterpaparan tumpahan minyak terhadap terumbu karang	Semakin tinggi nilai skor, semakin meningkatkan kerentanan
Tipe pasang surut (TT)	Tipe pasang surut mempengaruhi seringnya paparan tumpahan minyak pada ekosistem terumbu karang. Berdasarkan karakteristiknya tipe pasang surut "harian ganda" akan memberikan paparan 2 kali dalam sehari, sedangkan tipe pasang "harian tunggal" memberikan hanya memberikan paparan 1 kali dalam sehari.	1. Harian Tunggal = 2 2. Campuran cenderung tunggal = 3 3. Campuran cenderung ganda = 4 4. Harian ganda = 5
Tunggang pasang (TR)	Tunggang pasang menggambarkan berapa tinggi (meter) perbedaan permukaan air laut saat pasang tertinggi dan surut terendah. Semakin besar nilai tunggang pasang maka akan meningkatkan paparan ekosistem terumbu karang oleh tumpahan minyak.	Merujuk penggolongan pasang oleh Wyrkti (1963). 1. <1 meter = 1 2. >1 - 1,9 meter = 2 3. 2 - 4 meter = 3 4. 4,1 - 6 meter = 4 5. >6 meter = 5 Merujuk informasi tunggang pasang tertinggi di Indonesia yang mencapai 8 meter di Sungai Digul dan Selat Muli (Selatan Papua) (Nontji, 2005).
Tinggi gelombang (WH)	Tinggi gelombang menjadi salah satu faktor yang menentukan tingkat pengadukan minyak di laut. Semakin tinggi gelombang, maka pengadukan minyak di laut semakin besar yang	1. 0 - 0,5 meter = 1 2. >0,5 - 1,0 meter = 2 3. >1,0 - 1,5 meter = 3 4. >1,5 - <2 meter = 4

Parameter	Deksripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
	kemudian meningkatkan keterpaparan terumbu karang terhadap minyak	5. ≥ 2 meter = 5 Modifikasi Gibb <i>et al.</i> (1992).
Tipe substrat (ST)	Tipe substrat dasar yang kasar umumnya cenderung dapat melepaskan minyak lebih mudah dibanding substrat yang halus. Semakin halus tipe substrat di ekosistem terumbu karang, maka semakin tinggi tingkat keterpaparannya.	1. Batu/pecahan karang = 1 2. Pasir kasar = 2 3. Pasir halus = 3 4. Pasir berlumpur = 4 5. Lumpur = 5 Modifikasi Shepard (1954).
Kedalaman habitat terumbu karang (WD)	Faktor kedalaman posisi habitat terumbu karang berpengaruh terhadap besarnya paparan kontaminasi minyak secara langsung. Semakin dangkal habitat, maka semakin tinggi paparan kontaminasi minyak terhadap terumbu karang (skor tinggi) begitu juga sebaliknya, semakin dalam posisi habitat terumbu karang, paparan kontaminasi langsung oleh minyak menjadi semakin kecil (skor rendah).	1. < -30 meter = 1 2. $(-30) - (-15)$ meter = 2 3. $(-15) - (-8)$ meter = 3 4. $(-8) - (-2)$ meter = 4 5. $(-2) - 0$ meter = 5 Modifikasi Sloan (1993).

Tabel 2. Deskripsi parameter dan kriteria penilaian kepekaan (*sensitivity*).

Parameter	Deksripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
Kepekaan (<i>Sensitivity</i>)	Faktor intrinsik ekosistem terumbu karang yang menerima dampak dari tumpahan minyak. Dijelaskan sebagai kepekaan dari fungsi internal ekosistem. Sensitivitas dalam konteks perubahan lingkungan adalah mudahnya suatu ekosistem untuk rusak yang didefinisikan dari komponen sistem tersebut yang merupakan hasil dari keterpaparan atau tekanan (Adger, 2006).	Semakin tinggi nilai skor, semakin meningkatkan kerentanan
Tipe pertumbuhan terumbu karang (GT)	Tipe pertumbuhan terumbu karang akan berpengaruh terhadap ekosistem terumbu karang secara keseluruhan jika terjadi tumpahan minyak. Terumbu karang tipe <i>atoll</i> cenderung akan lebih sensitif terhadap tumpahan minyak jika dibandingkan dengan terumbu karang yang tersebar. Karena tumpahan minyak yang memasuki kawasan <i>atoll</i> akan terakumulasi di tengah pada saat pasang surut	1. Patch Reef = 2 2. Fringing Reef = 3 3. Barrier Reef = 4 4. Atoll = 5 Tomascik <i>et al.</i> (1997)

Parameter	Deksripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
Kelandaian (SL)	Ekosistem yang tumbuh di perairan yang landai akan memiliki nilai sensitivitas yang lebih tinggi daripada ekosistem yang terjal akibat tumpahan minyak.	1. Tubir = 1 2. Sangat Curam = 2 3. Curam = 3 4. Landai = 4 5. Datar (<i>flat</i>) = 5
Status perlindungan (PE)	Ekosistem terumbu karang yang dilindungi memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi daripada kawasan ekosistem yang tidak dilindungi. Penetapan suatu kawasan sebagai kawasan perlindungan atau bukan, tentunya sudah mempertimbangkan berbagai faktor.	1. Tidak dilindungi = 1 2. Zona pemukiman = 2 3. Zona Pemanfaatan = 3 4. Zona Perlindungan = 4 5. Zona Inti = 5 Modifikasi IPIECA (1992).
Persentase tutupan (PC)	Persentase tutupan merupakan proporsi antara luas tempat yang ditutupi terumbu karang hidup dengan luas total habitat. Semakin tinggi persentase tutupan maka semakin sensitif terhadap paparan tumpahan minyak	1. 0,0 - 10,9% = 1 2. 11,0 - 30,9% = 2 3. 31,0 - 50,9% = 3 4. 51,0 - 75,9% = 4 5. 76,0 - 100% = 5 English <i>et al.</i> (1994).
Kerapatan (CD)	Kerapatan = jumlah total koloni / luas area unit sampel. Parameter persentase tutupan dan kerapatan terumbu karang tetap perlu untuk dinilai bersamaan. Hal ini diperlukan untuk memberikan penilaian sensitivitas terumbu karang secara utuh, yaitu dari sisi tutupan area perairan oleh karang hidup, dan jumlah koloni karang hidup dalam luasan area perairan (kerapatan).	1. 0 koloni/m ² = 1 2. >0 – 10 koloni/m ² = 2 3. >10 – 20 koloni/m ² = 3 4. >20 – 30 koloni/m ² = 4 5. >30 koloni/m ² = 5 Nilai skor maksimal didapatkan dari nilai koloni karang terbanyak yang ditemukan dalam transek 50x50 cm dalam penelitian ini kemudian dikonversi ke unit m ²
Spesies dilindungi (PS)	Keberadaan spesies yang dilindungi di suatu ekosistem terumbu karang akan memberikan nilai sensitivitas yang tinggi pada ekosistem tersebut terhadap tumpahan minyak	1. Tidak ada = 1 2. Ada = 4
Kelimpahan ikan (FA)	Ekosistem terumbu karang tidak hanya terdiri dari karang, namun juga terdapat biota asosiasi seperti ikan karang. Semakin tinggi kelimpahan ikan maka semakin tinggi nilai sensitivitas ekosistem tersebut	1. 0 ind/ha = 1 2. >0 – 10.000 ind/ha = 2 3. >10.000 – 20.000 ind/ha = 3 4. >20.000 – 30.000 ind/ha = 4 5. >30.000 ind/ha = 5 Nilai skor maksimal dari kategori kelimpahan ikan yang tinggi dari data Estradivari (2009).

2.1.1. Kepekaan (*Sensitivity*)

Faktor kepekaan merupakan faktor intrinsik ekosistem terumbu karang yang menerima dampak dari tumpahan minyak. Hal ini dapat dijelaskan sebagai kepekaan dari fungsi dari internal ekosistem. Parameter yang digunakan untuk menilai kepekaan ekosistem terumbu karang dari tumpahan minyak dijabarkan pada Tabel 2.

2.1.2. Kapasitas Adaptif (*Adaptive Capacity*)

Adaptasi dalam konteks ini tidak sama dengan adaptasi biologi yang merupakan kemampuan organisme secara biologis beradaptasi terhadap lingkungan (evolusi) (Fabricius *et al.*, 2007). Hal ini mempertimbangkan pemulihan terumbu karang akibat pencemaran minyak yang memakan waktu berdekade (Brown, 1997). Kapasitas adaptif dalam kasus tumpahan minyak dinilai berbeda dengan kapasitas adaptif dari ekosistem terumbu karang akibat perubahan iklim. Dalam kasus tumpahan minyak yang me-

rupakan kasus kecelakaan, dimana kejadian terjadi seketika, tidak dapat diprediksi dan memberikan efek terburuk terhadap terumbu karang, maka adaptasi tidak dapat dinilai dari parameter biologi dan ekologi, melainkan dinilai dari faktor luar yang masih terkait dengan ekosistem terumbu karang.

Menurut (Folke *et al.*, 2003, Walker *et al.*, 2004, Adger *et al.*, 2005; Chapin *et al.*, 2009;) *adaptive capacity* menunjuk pada kemampuan aktor (manusia) dalam merespon perubahan dan gangguan. Terdapat empat perangkat yang menentukan *adaptive capacity* yaitu: perangkat teknik, kelembagaan, sosial, dan finansial. Kemampuan adaptasi menunjuk pada perangkat kelembagaan, perangkat teknik, perangkat sosial, dan perangkat finansial yang dimiliki oleh aktor (komunitas yang bergantung pada terumbu karang) untuk merespon atau menyesuaikan diri terhadap gangguan tumpahan minyak. Deskripsi masing-masing parameter kapasitas adaptif yang digunakan dalam penelitian ini disampaikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Deskripsi parameter dan kriteria penilaian kapasitas adaptif (*adaptive capacity*).

Parameter	Deskripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
Kemampuan Adaptasi (<i>Adaptive Capacity</i>)	Dalam kasus tumpahan minyak yang merupakan kasus kecelakaan, dimana kejadian terjadi seketika, tidak dapat diprediksi dan memberikan efek terburuk terhadap terumbu karang, maka adaptasi tidak dapat dinilai dari parameter biologi dan ekologi, melainkan dinilai dari faktor luar yang masih terkait dengan ekosistem terumbu karang.	Semakin tinggi skor, semakin mengurangi kerentanan
Perangkat penanganan tumpahan minyak (CS)	Keberadaan sistem penanggulangan tumpahan minyak di suatu area perairan menentukan seberapa cepat dan efektif suatu kejadian tumpahan minyak dapat ditanggulangi. Semakin siap dan efektif sistem penanggulangan minyak di suatu kawasan maka dampak tumpahan minyak terhadap terumbu karang khususnya dapat lebih cepat ditangani	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak ada perangkat penanganan = 1 2. Hanya ada perangkat nasional = 2 3. Terdapat perangkat penanganan regional = 2 4. Terdapat perangkat penanganan lokal = 4 Modifikasi BPMIGAS (2010).

Parameter	Deksripsi Parameter	Kriteria Penilaian Skor
Institusi konservasi terumbu karang (CI)	Keberadaan suatu lembaga konservasi baik itu pemerintah, maupun non-pemerintah di suatu kawasan akan sangat membantu objek konservasi (terumbu karang) untuk terjaga, baik dari ancaman maupun dalam membantu ekosistem pulih dari kerusakan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak ada lembaga konservasi = 1 2. Lembaga lokal saja = 2 3. Lembaga swasta saja = 3 4. Lembaga pemerintah = 4 5. Lembaga lokal + swasta + pemerintah = 5
Respon masyarakat (CR)	Parameter respon masyarakat mencerminkan kemampuan adaptasi komunitas yang bergantung pada terumbu karang terhadap gangguan yang terjadi pada terumbu karang akibat tumpahan minyak. Respon masyarakat ini diukur dari pengalaman menghadapi dan pulih dari kasus tumpahan minyak sebelumnya. Respon ini juga diukur dari bagaimana masyarakat bereaksi dan bersikap ketika mereka menemukan di daerah mereka terdapat tumpahan minyak. Semakin cepat dan terstruktur proses respon masyarakat dalam melaporkan kejadian tumpahan minyak untuk mendapatkan bantuan penanganan, maka semakin tinggi daya adaptasi untuk mengurangi kerentanan ekosistem terumbu karang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Masyarakat mengetahui tumpahan minyak namun mengabaikannya = 1 2. Masyarakat tidak tahu seperti apa tumpahan minyak = 2 3. Masyarakat mengetahui tumpahan minyak namun tidak tahu harus melaporkan kepada siapa = 3 4. Masyarakat mengetahui tumpahan minyak namun tidak melaporkan dengan segera = 4 5. Masyarakat mengetahui kejadian tumpahan minyak dan melaporkan segera = 5
Ketergantungan ekonomi (ED)	Faktor ketergantungan ekonomi dinilai berpengaruh dalam menentukan daya pulih ekosistem terumbu karang pasca kejadian tumpahan minyak. Semakin rendah ketergantungan secara ekonomi terhadap ekosistem terumbu karang, maka upaya pemanfaatan terumbu karang secara langsung dan kegiatan ekstraksi lainnya bersifat rendah, sehingga tekanan terumbu karang dalam masa pemulihan semakin berkurang. Ketergantungan ekonomi ini dilihat dari kepemilikan aset finansial, sumber penghasilan alternatif dan keterampilan individu untuk mendapatkan sumber penghasilan lain selain dari ekstraksi terumbu karang.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketergantungan sangat tinggi = 1 2. Ketergantungan tinggi = 2 3. Ketergantungan sedang = 3 4. Ketergantungan rendah = 4 5. Ketergantungan sangat rendah = 5

2.2. Analisis Data

Model indeks kerentanan yang dibangun dalam penelitian ini adalah model matematis kerentanan ekosistem terumbu

karang terhadap tumpahan minyak. Kerentanan adalah kombinasi dari derajat keterpaparan pada sebuah dampak, kepekaan dari ekosistem atau komunitas pada dampak

tersebut dan kemampuan dari manusia untuk beradaptasi dengan mengetahui, memitigasi dan memulihkan dari dampak dan mengambil keuntungan dari peluang baru yang diciptakan oleh perubahan (Cinner *et al.*, 2011; 2013).

Konsep kerentanan mengacu pada kerentanan yang dikemukakan oleh Turner *et al.* (2003), dimana kerentanan (V) merupakan fungsi dari *exposure* (E), *sensitivity* (S), dan *adaptive capacity* (AC). Dalam formula umum berbentuk:

$$V = f(E, S, AC) \dots\dots\dots(1)$$

Fungsi ini diekspresikan lebih lanjut dalam bentuk persamaan matematika:

$$V = E + S - AC \dots\dots\dots(2)$$

Nilai akhir masing-masing kategori (E, S, AC) yang digunakan untuk menghitung indeks kerentanan (V) merupakan nilai rata-rata dari skor masing - masing parameter penyusunnya. Dengan menjabarkan parameter penyusun indeks ke dalam masing-masing kategori, maka terbentuk persamaan berikut:

$$E = \frac{TT+TR+WH+ST+WD}{5} \dots\dots\dots(3)$$

$$S = \frac{GT+SL+PE+PC+CD+PS+FA}{7} \dots\dots\dots(4)$$

$$AC = \frac{CS+CI+CR+ED}{4} \dots\dots\dots(5)$$

dimana, V = *vulnerability index* (indeks kerentanan); E = *exposure* (kategori keterpaparan); S = *sensitivity* (kategori kepekaan); AC = *adaptive capacity* (kategori kapasitas adaptif).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Berdasarkan data Dishidros TNI-AL (2013) diketahui tipe pasang surut di Kepulauan Seribu adalah diurnal atau tunggal dengan amplitudo 1 meter atau kurang. Kondisi ini sama seperti yang dinyatakan oleh Wyrkti (1961); Pariwono (1989); Tomascik *et*

al. (1997). Kedalaman terumbu karang yang hidup di lokasi penelitian bervariasi antara 1 hingga 12 m. Angka kedalaman yang diperhitungkan dalam parameter ini adalah kedalaman terdangkal dimana ekosistem terumbu karang ditemukan di lokasi penelitian. Tinggi gelombang di Kepulauan Seribu pada musim Barat adalah sebesar 0,5-1,5 m, sedangkan pada musim Timur adalah sebesar 0,5 - 1,0 m (BTNKpS, 2011). Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan tinggi gelombang pada kawasan ekosistem terumbu karang berkisar antara 40 – 70 cm. Tipe substrat pada dasar perairan di Kepulauan Seribu umumnya adalah pasir halus. Pada beberapa lokasi ditemui pecahan - pecahan karang (*rubble*), namun struktur utama substrat dasarnya adalah pasir halus.

Ekosistem pada terumbu karang di Kepulauan Seribu secara umum tumbuh membentuk terumbu karang tepi (*fringing reef*) (BTNKpS, 2011). Tumbuh dari tubir (*reef crest*) hingga lereng (*reef slope*), dengan kedalaman 1 – 20 m. Kontur dasar perairan dengan kemiringan sedang, dengan substrat dasar perairan didominasi oleh pasir. Hasil pengamatan kondisi tutupan karang keras di stasiun sampling berkisar antara 43,36% - 53,80% yang termasuk dalam kategori sedang hingga baik.

Ekosistem terumbu karang di sekitar Pulau Pramuka hidup di kedalaman 1 – 10 meter dengan mayoritas terumbu karang hidup di kedalaman 1 – 7 meter. Kondisi kontur perairan di Pulau Pramuka cenderung landai, dengan tingkat tutupan karang hidup mencapai maksimum 43,36% (Gambar 2a) dengan kerapatan 19,2 koloni/m² di utara Pulau Pramuka. Terumbu karang di utara Pulau Pramuka merupakan hasil rehabilitasi melalui program transplantasi.

Terumbu karang di Pulau Belanda ditemukan pada kedalaman 1 hingga 12 meter. Hasil pengamatan mendapatkan persentase tutupan karang hidup di Pulau Belanda yaitu sebesar 53,80% (Gambar 2) dengan kerapatan 16 koloni/m². Kondisi kontur pada perairan di Pulau Belanda cenderung lebih

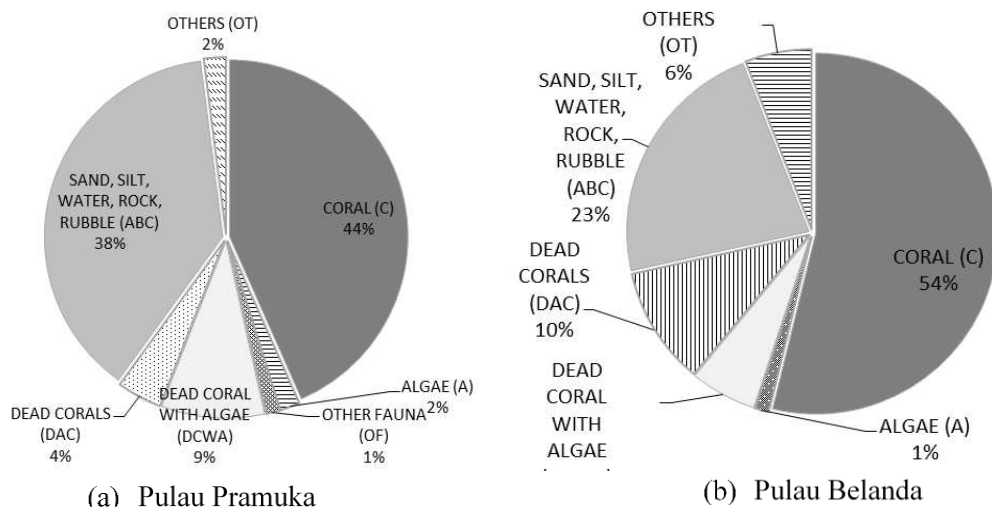
curam jika dibanding dengan Pulau Pramuka. Ekosistem terumbu karang di Pulau Belanda merupakan terumbu karang yang terlindungi baik dari adanya aktivitas penangkapan ikan maupun aktivitas wisata.

Parameter kerapatan merupakan parameter yang saling melengkapi dengan informasi yang disajikan dari parameter persentase tutupan karang hidup. Jika parameter persentase tutupan hanya menginformasikan luasan area yang ditempati karang hidup, parameter kerapatan memberikan informasi jumlah koloni yang menempati luasan tersebut. Bisa saja dalam 70% tutupan karang hidup terdapat hanya satu koloni karang, namun bisa juga dalam 70% tutupan tersebut terdapat lebih banyak koloni karang. Hal inilah yang mampu dicerminkan dari parameter kerapatan, sehingga penilaian kepekaan terumbu karang menjadi lebih komprehensif.

Data kerapatan terumbu karang ini didapatkan dari transek yang sama dengan data persen tutupan. Cara mendapatkan nilai kerapatan adalah menghitung jumlah koloni terumbu karang dalam transek tersebut. Hasil pengamatan dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan laporan Estradivari *et al.* (2009) dan BTNKpS (2011) yang mendapatkan jumlah jenis karang keras (*hard coral*) yang ditemukan di perairan TNKpS

adalah sebanyak 62 marga dengan kelimpahan rata-rata 46.015 ind/ha pada tahun 2005 atau jika dikonversi sekitar 5 ind/m² dan turun menjadi 35.878 koloni/ha pada tahun 2007. Nilai kelimpahan tertinggi yang dilaporkan Estradivari *et al.* (2009) adalah 136.125 koloni/ha yang terdapat di utara Pulau Tidung Kecil tahun 2007. Hasil yang lebih tinggi ini diduga karena di lokasi yang diamati dalam penelitian ini merupakan lokasi yang direhabilitasi sehingga kondisi terumbu karangnya cenderung lebih baik.

Kelimpahan ikan di lokasi penelitian berkisar antara 217 ind/250m² di Pulau Pramuka (Tabel 4) dan 641 ind/250m² di Pulau Belanda (Tabel 5). Hasil laporan kondisi terumbu karang BTNKpS (2011) menyatakan sebanyak 14.759 ind/ha atau setara dengan 2 ind/m². Berdasarkan laporan BTNKpS (2011) keanekaragaman dan kelimpahan organisme ikan karang di perairan kawasan TNKpS pada tahun 2007 di perairan Zona Inti sebesar 29.382 individu ikan/ha, perairan Zona Pemanfaatan Wisata sebesar 49.600 individu ikan/ha, dan perairan Zona Permukiman sebesar 32.280 individu ikan/ha. Estradivari *et al.* (2009) melaporkan kelimpahan ikan karang pada 2003, 2005, dan 2007 di Kepulauan Seribu secara rata-rata adalah sebanyak 37.649 ind/ha, 45.489 ind/ha, dan 32.603 ind/ha.



Gambar 2. Komposisi penyusun habitat terumbu karang (a) Pulau Pramuka; (b) Pulau Belanda.

Tabel 4. Hasil pengamatan kelimpahan ikan di Pulau Pramuka.

Famili	Spesies	Jumlah Individu
Labridae	<i>Halichoeres chloroterus</i>	20
Labridae	<i>Thalassoma lunare</i>	13
Pomacentridae	<i>Pomacentrus molluccensis</i>	65
Pomacentridae	<i>Abudefduf vaigiensis</i>	85
Apogonidae	<i>Apogon compressus</i>	5
Platycephalidae	<i>Pailloculiceps longiceps</i>	1
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon melas</i>	10
Pomacentridae	<i>Dischistodus prosopotaenia</i>	9
Scariidae	<i>Scarus tricolor</i>	2
Lutjanidae	<i>Lutjanus kasmira</i>	2
Nemipteridae	<i>Scolopsis bilineatus</i>	4
Labridae	<i>Labroides dimidiatus</i>	1
Total ind/250m ²		217

Tabel 5. Hasil pengamatan kelimpahan ikan di Pulau Belanda.

Famili	Spesies	Jumlah Individu
Labridae	<i>Thalassoma lunare</i>	46
Labridae	<i>Halichoeres vrolikii</i>	20
Chaetodontidae	<i>Chaetodon octofasciatus</i>	8
Scariidae	<i>Scarus flavipectoralis</i>	4
Synodontidae	<i>Synodus indicus</i>	3
Nemipteridae	<i>Scolopsis bilineatus</i>	3
Apogonidae	<i>Apogon compressus</i>	100
Apogonidae	<i>Archamia zosterophora</i>	80
Pomacentridae	<i>Pomacentrus alexanderae</i>	70
Labridae	<i>Cheilinus fasciatus</i>	2
Caesionidae	<i>Caesio terres</i>	40
Pomacentridae	<i>Pomacentrus molluccensis</i>	30
Pomacanthidae	<i>Chaetodontoplus mesoleucus</i>	2
Nemipteridae	<i>Scolopsis lineatus</i>	5
Labridae	<i>Bodianus mesothorax</i>	3
Pomacentridae	<i>Neoglyphidodon melas</i>	10
Labridae	<i>Halichoeres chloroterus</i>	10
Serranidae	<i>Epinephelus quoyanus</i>	3
Balistidae	<i>Monacanthus ciliatus</i>	1
Labridae	<i>Labroides dimidiatus</i>	1
-	<i>Juvenil</i>	200
Total ind/250m ²		641

Di kawasan Pulau Pramuka sering dijumpai penyu melintas, di pulau ini pun terdapat pusat penangkaran Penyu Sisik (*Eremochelys imbricata*) dan Penyu Hijau (*Chelonia mydas*). Wilayah Taman Nasional

Kepulauan Seribu (TNKpS) merupakan salah satu kawasan perlindungan untuk penyu sisik (*Eremochelys imbricata*). Saat ini teridentifikasi sebanyak 7 pulau yang masih disinggahi penyu untuk bertelur pada musim-musim

tertentu (BTNKpS, 2011). Berdasarkan pengamatan di lapangan ditemukan penyu di sekitar perairan Pulau Pramuka dan Pulau Panggang.

Pulau Belanda yang termasuk dalam zona inti III kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu ini seluas 570 hektar merupakan perlindungan perlindungan Penyu Sisik (*Eretmochelys imbricata*), dan ekosistem terumbu karang. Selain penyu, di kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu juga teridentifikasi spesies yang dilindungi dari kelompok mamalia laut (cetacea) yaitu lumba-lumba (Wardiatno *et al.*, 2010).

Wilayah Kepulauan Seribu, DKI Jakarta termasuk dalam wilayah penanganan tumpahan minyak yang dikelola oleh CNOOC SES Ltd, PHE ONWJ dan Pertamina EP Region Jawa (BPMigas, 2010). Penanganan tumpahan minyak di Indonesia dibagi menjadi 3 kategori yaitu: *Tier I*, *Tier II* dan *Tier III* dibawah pengelolaan SKK Migas (sebelumnya: BPMigas). *Tier* adalah kategorisasi penanganan tumpahan minyak yang menjadi dasar/acuan untuk kegiatan operasi penanganan tumpahan minyak berdasarkan wilayah tanggung jawab dan kemampuan penanggulangan (BPMigas, 2011). Adapun pengertian menurut BPMigas (2011) kategori *Tier* ini dijelaskan sebagai berikut: *Tier I* adalah kategorisasi penanganan tumpahan minyak yang terjadi di darat atau perairan yang mampu ditangani secara mandiri oleh sarana, prasarana dan personil yang tersedia pada pelabuhan atau unit perusahaan minyak dan gas bumi atau kegiatan lain; *Tier II* adalah kategorisasi penanganan tumpahan minyak yang terjadi di darat atau perairan yang tidak mampu ditangani secara mandiri oleh sarana prasarana dan personil yang tersedia pada pelabuhan atau unit perusahaan minyak dan gas bumi atau unit kegiatan lain berdasarkan tingkatan *Tier I*; *Tier III* adalah kategorisasi penanganan tumpahan minyak yang terjadi di darat atau perairan yang tidak mampu ditangani oleh sarana, prasarana dan personil yang tersedia di suatu wilayah berdasarkan tingkatan *Tier II* atau menyebar

melintasi batas wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Wilayah Kepulauan Seribu dalam kategori *Tier I* ditanggulangi oleh CNOOC SES Ltd dan PHE ONWJ. Sedangkan dalam kategori *Tier II* ditanggulangi secara bersama oleh CNOOC SES Ltd, PHE ONWJ dan Pertamina EP Region Jawa di bawah koordinasi SKK Migas

Selain itu, salah satu perusahaan yang beroperasi di Kepulauan Seribu memberikan pelatihan kepada beberapa orang tokoh dari pulau-pulau berpenduduk (Kelurahan Pulau Panggang, Kelapa dan Harapan) sebagai personil darat (*onshore combat team*) yang mampu memberikan respon jika terjadi tumpahan minyak di wilayah Kepulauan Seribu.

Kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS) secara resmi dikelola oleh Balai TNKpS, Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Kementerian Kehutanan. Di bawah koordinasi Kepala BTNKpS terdapat Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) I, II, dan III yang terdapat di pulau Kelapa Dua, Harapan dan Pramuka.

Selain pengelolaan oleh BTNKpS, upaya konservasi di wilayah Kepulauan Seribu juga dikelola oleh beberapa Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) seperti Yayasan Terumbu Karang Indonesia (TERANGI) dan Yayasan Reef Check Indonesia. Selain itu pula, terdapat upaya-upaya konservasi yang dilakukan secara swadaya oleh masyarakat melalui kelompok-kelompok masyarakat yang didukung oleh Suku Dinas Perikanan Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu seperti kelompok masyarakat Area Perlindungan Laut (APL) di Pulau Pramuka. Pengelolaan Zona Inti 3 yang termasuk di dalamnya Pulau Belanda dikelola oleh SPTN II di Pulau Harapan.

Hasil wawancara di lokasi penelitian diketahui bahwa masyarakat di Kepulauan Seribu sudah mengenal bentuk pencemaran tumpahan minyak. *Tar Ball* yang merupakan gumpalan minyak yang mencapai pantai dinamai dengan “*pek*” oleh masyarakat

Kepulauan Seribu. Pengalaman mengalami tumpahan minyak sebelumnya menjadikan masyarakat Kepulauan Seribu memiliki respon yang baik. Ketika ada ditemukan *pek* di pantai atau di dermaga, maka masyarakat melaporkan pada tokoh masyarakat seperti RT, RW atau tokoh masyarakat dan selanjutnya informasi tersebut diteruskan kepada kontak salah satu perusahaan yang beroperasi di sekitar Kepulauan Seribu seperti CNOOC ataupun PHE ONWJ. Dengan familiarnya masyarakat dengan kejadian tumpahan minyak ini menjadikan upaya penanggulangan tumpahan minyak di wilayah ini cepat dilakukan. Menurut informasi dari masyarakat ketika laporan adanya *pek* disampaikan kepada perusahaan migas maka setidaknya dalam 24 jam bantuan penanganan datang ke lokasi. Berdekatnya wilayah Kepulauan Seribu dengan kawasan pertambangan minyak dan gas bumi menjadikan masyarakat Pulau Pramuka khususnya menjadi familiar dengan adanya potensi tumpahan minyak dan prosedur pelaporan dan penanganan tumpahan minyak. Hal ini juga didukung dengan mudahnya tokoh masyarakat menyampaikan informasi dan mendapatkan respon untuk penanggulangan tumpahan minyak.

Kondisi berbeda ditemukan untuk Pulau Belanda dimana pulau ini merupakan pulau tanpa penduduk sehingga ketika ada kejadian tumpahan minyak yang memasuki wilayah ekosistem terumbu karang Pulau Belanda maka tidak ada respon langsung yang sama seperti pulau berpenduduk lainnya.

Parameter ketergantungan ekonomi mencerminkan ketergantungan masyarakat

secara langsung terhadap terumbu karang. Tumpahan minyak secara langsung dapat berdampak terhadap aktivitas ekonomi masyarakat di Kepulauan Seribu. *Tar ball* yang memasuki area terumbu karang akan berdampak secara langsung dan tidak langsung terhadap usaha penangkapan ikan oleh masyarakat. Secara langsung *tar ball* akan mengganggu operasional penangkapan ikan karena *tar ball* tersebut akan mengotori jaring atau pancing nelayan. Secara tidak langsung *tar ball* dapat menyebabkan migrasi ikan di kawasan terumbu karang yang terdampak karena tercemarnya kawasan terumbu karang.

Pulau Pramuka merupakan pusat pemerintahan Kabupaten Administratif Kepulauan Seribu dan juga merupakan salah satu pusat aktivitas wisata. Masyarakat Pulau Pramuka memanfaatkan ekosistem terumbu karang secara variatif. Secara tradisional komunitas nelayan memanfaatkan terumbu karang sebagai daerah penangkapan ikan. Dengan semakin berkembangnya aktivitas wisata di Pulau Pramuka, pemanfaatan terumbu karang oleh masyarakat cenderung berubah. Saat ini terumbu karang merupakan objek wisata yang dijual oleh para pelaku wisata di Pulau Pramuka. Kerusakan ekosistem terumbu karang oleh tumpahan minyak akan berdampak terhadap kegiatan ekonomi masyarakat Pulau Pramuka. Rangkuman kondisi masing-masing parameter untuk membangun indeks kerentanan di Pulau Pramuka dan Pulau Belanda disampaikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran parameter penyusun indeks kerentanan di Pulau Pramuka dan Belanda.

	Parameter	Pulau Pramuka	Pulau Belanda	Sumber Data
<i>Exposure</i>	Tipe pasang surut (TT)	Diurnal	Diurnal	Dishidros (2013)
	Tunggang pasang (TR)	< 1 meter	< 1 meter	Dishidros (2013)
	Tinggi gelombang (WH)	40 cm	60 cm	Data primer
	Tipe substrat (ST)	Pasir halus	Pasir halus	Data primer

	Parameter	Pulau Pramuka	Pulau Belanda	Sumber Data
	Kedalaman habitat (WD)	1 – 7 meter	1 – 12 meter	Data primer
	Tipe pertumbuhan terumbu karang (GT)	<i>Fringing reef</i>	<i>Fringing reef</i>	BTNKpS (2011); analisis foto udara (GoogleEarth, 2016)
Sensitivity	Kelandaian (SL)	Landai	Landai	Data Primer
	Status perlindungan (PE)	Zona pemukiman	Zona inti	BTNKpS (2011)
	Persen tutupan (PC)	43,36%	53,80%	Data primer
	Kerapatan (CD)	19,2 ind/m ²	16 ind/m ²	Data primer
	Spesies dilindungi (PS)	Ada	Ada	Data primer
	Kelimpahan ikan (FA)	8.680 ind/ha	25.640 ind/ha	Data primer
	Perangkat penanganan tumpahan minyak (CS)	Terdapat perangkat penanganan lokal	Tidak terdapat perangkat penanganan lokal, hanya terdapat perangkat penanganan secara regional	Data primer; BPMigas (2010)
Adaptive capacity	Institusi konservasi terumbu karang (CI)	Terdapat lembaga lokal, swasta dan pemerintah	Lembaga pemerintah	Data Primer
	Respon masyarakat (CR)	Merespon dengan cepat	Respon dari masyarakat pulau terdekat (\pm 6 km)	Data primer
	Ketergantungan ekonomi (ED)	Ketergantungan sedang	Ketergantungan tidak langsung dari zona inti	Data primer

3.1.1. Indeks Kerentanan Ekosistem Terumbu Karang di Pulau Pramuka dan Pulau Belanda

Kerentanan ekosistem terumbu karang dapat dicerminkan dengan sebuah indeks. Indeks merupakan suatu penunjuk yang berupa angka atau bilangan yang menunjukkan tingkat kerentanan, sehingga indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak dapat diartikan sebagai angka yang menunjukkan tingkat kecenderungan rusaknya ekosistem terumbu karang akibat gangguan yang dihasilkan oleh kejadian tumpahan minyak.

Indeks kerentanan yang dibangun dalam penelitian ini akan bernilai maksimum jika E dan S memiliki skor masing-masing 5 dan AC memiliki skor 1. Nilai indeks kerentanan minimum jika E dan S masing-masing bernilai 1 dan AC bernilai 5.

Penelitian ini mendapatkan nilai minimum indeks kerentanan (V) sebesar -3 dan nilai maksimum sebesar 9. Hasil perhitungan nilai indeks minimum dan indeks maksimum tersebut disajikan dalam Tabel 7. Nilai minimum yang didapatkan dari simulasi ini terdapat nilai negatif (minus), kondisi ini tidak ideal digunakan sebagai sebuah indeks. Untuk itu diperlukan sebuah faktor koreksi (*CF*) untuk membuat nilai minimum indeks menjadi 0. Faktor koreksi yang digunakan adalah +3 sehingga nilai minimum indeks menjadi 0 dan nilai maksimum indeks menjadi 12. Nilai indeks kerentanan dari penelitian terdahulu bervariasi angkanya. Cinner *et al.* (2011; 2013) menggunakan nilai indeks kerentanan 0 hingga 1, dimana 0 untuk kondisi tidak rentan dan 1 untuk kondisi kerentanan sangat tinggi. Pratt *et al.* (2004) menggunakan nilai indeks <215 untuk kondisi

resilient dan >365 untuk *extremely vulnerable*.

Untuk menghitung indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak, kondisi masing-masing parameter (Tabel 6) di masing-masing pulau ditransformasi menjadi skor. Hasil skoring per parameter di Pulau Pramuka dan Pulau

Belanda disampaikan pada Tabel 8. Hasil perhitungan dalam penelitian ini mendapatkan nilai indeks kerentanan untuk Pulau Pramuka sebesar 4,15 yang termasuk dalam kategori kerentanan sedang dan indeks kerentanan untuk Pulau Belanda sebesar 6,21 yang termasuk dalam kategori kerentanan tinggi.

Tabel 7. Perhitungan dan klasifikasi indeks kerentanan ekosistem terumbu karang.

Kategori	<i>Exposure</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>Adaptive capacity</i>	Indeks Kerentanan awal	Nilai Indeks Kerentanan Akhir	Klasifikasi Indeks Kerentanan
Sangat rendah	1	1	5	-3	0	0
Rendah	2	2	4	0	3	>0 – 3
Sedang	3	3	3	3	6	>3 – 6
Tinggi	4	4	2	6	9	>6 – 9
Sangat tinggi	5	5	1	9	12	>9 – 12

Tabel 8 Nilai skor parameter.

Kategori	Parameter	P. Pramuka	P. Belanda
<i>Exposure</i>	Tipe pasang surut	2	2
	Tunggang pasang	1	1
	Tinggi gelombang	1	2
	Tipe substrat	3	3
	Kedalaman habitat	5	5
	Nilai rata-rata <i>exposure</i>	2,40	2,60
<i>Sensitivity</i>	Tipe pertumbuhan terumbu karang	3	3
	Kelandaian	4	4
	Status perlindungan	2	5
	Persen tutupan	3	4
	Kerapatan	3	3
	Spesies dilindungi	4	4
	Kelimpahan ikan	2	4
	Nilai rata-rata <i>sensitivity</i>	3,00	3,86
<i>Adaptive Capacity</i>	Perangkat penanganan tumpahan minyak	4	2
	Institusi konservasi terumbu karang	5	4
	Respon masyarakat	5	3
	Ketergantungan ekonomi	3	4
	Nilai rata-rata <i>adaptive capacity</i>	4,25	3,25
Nilai indeks kerentanan*		4,15	6,21
Status kerentanan		Sedang	Tinggi

*nilai akhir indeks kerentanan setelah ditambah faktor koreksi.

3.2. Pembahasan

Pulau Pramuka dan Pulau Belanda yang dikaji dalam penelitian ini memiliki karakteristik umum yang sama karena berada dalam satu kawasan ekosistem Kepulauan Seribu. Sehingga nilai keterpaparan antara dua pulau ini relatif sama. Berdasarkan nilai indeks kerentanan diketahui bahwa ekosistem terumbu karang Pulau Belanda memiliki kerentanan yang tinggi. Hal ini disebabkan terutama karena nilai status perlindungan, persentase tutupan karang, dan kelimpahan ikan di Pulau Belanda lebih tinggi dibandingkan Pulau Pramuka. Selain itu, kerentanan tinggi Pulau Belanda juga disebabkan karena nilai kapasitas adaptif yang lebih rendah dibandingkan dengan Pulau Pramuka. Jika terjadi tumpahan minyak yang memasuki kawasan ekosistem terumbu karang Pulau Belanda maka respon penanggulangannya tidak lebih cepat dibanding di Pulau Pramuka.

Nilai skor parameter dalam kategori *exposure* di Pulau Pramuka dan Belanda menunjukkan nilai yang hampir sama. Sedikit perbedaan hanya pada parameter tinggi gelombang dan kedalaman habitat terumbu karang. Hal ini disebabkan karena pulau-pulau tersebut merupakan wilayah yang memiliki karakteristik oseanografi dan ekosistem yang relatif sama. Hal ini juga sama seperti yang diungkapkan oleh Estradivari *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa kondisi ekosistem terumbu karang di Kepulauan Seribu cenderung mirip antar pulau, kecuali beberapa pulau yang letaknya berdekatan atau terletak di Teluk Jakarta (Kelurahan Pulau Untung Jawa).

Pulau Belanda sebagai bagian dari Zona Inti III Taman Nasional Kepulauan Seribu merupakan pulau tidak berpenduduk dan berjarak cukup jauh dari pulau-pulau berpenduduk. Jarak terdekat Pulau Belanda dengan pulau berpenduduk adalah sekitar 6 kilometer, yaitu ke pulau Harapan. Kondisi terpencil ini menyebabkan nilai parameter respon masyarakat untuk Pulau Belanda rendah. Dalam kasus tumpahan minyak,

kondisi terpencil menyebabkan penanganan tumpahan minyak diprediksi lebih lambat dibanding pulau-pulau lainnya. Estradivari *et al.* (2009) juga menyatakan masalah *remoteness* menjadi salah satu kendala dalam pengelolaan zona inti. Upaya-upaya monitoring di wilayah ini serta upaya pengendalian dari gangguan kerusakan perlu ditingkatkan. Khususnya dalam kasus tumpahan minyak yang masuk ke wilayah Pulau Belanda, dibutuhkan informasi yang cepat sehingga bantuan penanganan lebih cepat meminimalisir paparan minyak terhadap ekosistem terumbu karang. Selain upaya pengawasan dan monitoring yang dilakukan oleh BTNKpS, penelitian ini juga mengindikasikan rekomendasi peningkatan peran masyarakat dalam memberikan respon ketika terjadi tumpahan minyak dengan memberikan laporan kepada personil lokal di pulau berpenduduk terdekat untuk dapat segera mendapatkan bantuan penanganan.

Keberadaan kelembagaan konservasi sangat mempengaruhi upaya-upaya rehabilitasi pasca kejadian tumpahan minyak. Upaya-upaya pemulihan kondisi pasca tumpahan minyak seperti transplantasi, dan bentuk lainnya akan lebih mudah dilakukan pada pulau-pulau yang dikelola oleh lembaga konservasi. Sedangkan untuk pulau-pulau yang tidak memiliki bantuan konservasi dan rehabilitasi akan sangat bergantung pada pemulihan alami yang dapat memakan waktu bertahun-tahun.

Estradivari *et al.* (2009) mengatakan para pengelola (lembaga konservasi, baik pemerintah, swasta, maupun lokal) berperan dalam mengurangi tekanan-tekanan lingkungan agar proses pemulihan ekosistem dapat berjalan dengan baik. Selain itu, pengelola perlu meningkatkan kualitas ekosistem terumbu karang dengan cara melakukan pengelolaan yang lebih efektif, dan jika diperlukan rehabilitasi terumbu karang yang tepat guna. Sehingga kombinasi peran antara pemerintah, swasta dan masyarakat akan semakin maksimal dalam membantu pemulihan pasca kejadian tumpahan minyak.

Parameter respon masyarakat dalam hal ini mencerminkan kemampuan masyarakat baik secara individu maupun komunitas dapat merespon kejadian tumpahan minyak. Respon tersebut dapat berupa memberikan upaya penanggulangan maupun upaya bertahan dan beradaptasi ketika kejadian tumpahan minyak berdampak terhadap aktivitas masyarakat. Farhan and Lim (2012) juga menyatakan dalam hasil dari studinya bahwa masyarakat memainkan peran penting dalam resiliensi. Penilaian parameter respon masyarakat dalam penelitian ini menggunakan skoring yang berpedoman pada tingkat kemampuan masyarakat merespon kejadian tumpahan minyak.

Ketergantungan yang tinggi terhadap terumbu karang akan mengakibatkan pemulihan ekosistem terumbu karang pasca tumpahan minyak akan berjalan lambat. Hal ini dikarenakan terumbu karang juga mendapat tekanan langsung dari upaya-upaya ekstraksi yang dilakukan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan ekonomi. Semakin banyak jenis alternatif usaha dan mata pencaharian maka semakin rendah tingkat ketergantungan masyarakat terhadap terumbu karang.

Westmacott *et al.* (2000) menyatakan bahwa salah satu hal terpenting untuk merestorasi ekosistem terumbu karang yang rusak adalah dengan menghilangkan tekanan-tekanan untuk mendorong pemulihan secara alami. Kegiatan ekstraksi terumbu karang (penangkapan dan lain sebagainya) merupakan bentuk tekanan terhadap terumbu karang. Semakin rendah ketergantungan terhadap terumbu karang menjadikan terumbu karang lebih cepat pulih. SOPAC (2005) juga menyatakan bahwa keterbatasan dalam diversifikasi sumber ekonomi, dan ketergantungan yang tinggi terhadap sumber daya alam merupakan faktor yang memperlambat pemulihan terhadap gangguan.

NOAA (2010) menjelaskan dampak tumpahan minyak bervariasi tingkat kepelikannya tergantung kondisi tumpahan minyak termasuk tipe minyak, jumlah,

komposisi spesies dan *nature of oil spill*. Minyak dapat membunuh karang tergantung dari spesies dan paparannya. Paparan yang lama dengan level minyak yang rendah dapat membunuh karang seperti juga paparan yang sebentar namun level konsentrasi minyaknya tinggi. Toksisitas kronis minyak dapat mempengaruhi reproduksi karang, partumbuhan, tingkah laku dan perkembangannya. Waktu saat terjadinya tumpahan minyak juga menjadi hal yang kritis, karena reproduksi karang dan tahap awal kehidupannya merupakan bagian yang sangat sensitif terhadap minyak.

Penelitian ini tidak menelaah hal-hal yang sangat spesifik antara hubungan karang dengan berbagai jenis minyak, namun penelitian ini menilai hal yang lebih luas dan mengasumsikan tumpahan minyak terhadap terumbu karang menyebabkan kematian terumbu karang. Serta mengasumsikan segala bentuk proses yang dialami minyak yang tumpah di perairan memberikan dampak yang sama terhadap terumbu karang.

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa jenis-jenis terumbu karang bervariasi tingkat sensitivitasnya terhadap minyak (Ballou *et al.*, 1987; Hatcher *et al.*, 1989; Hawker and Connell, 1992). Mayoritas penelitian terdahulu membuktikan bahwa tumpahan minyak di area terumbu karang telah membuat penurunan yang signifikan terhadap jumlah terumbu karang, tutupan karang hidup, dan keanekaragaman jenis (Guzman *et al.*, 1991). Sebagai contoh, Bak (1987) menemukan bahwa *Acropora*, *Montastrea* dan *Agaricia* rusak secara signifikan oleh pencemaran minyak kronis, sementara *Diploria* relatif lebih melimpah dalam area terumbu karang yang rusak. Ketahanan jenis *Diploria* terhadap minyak juga telah didemonstrasikan dalam skala laboratorium oleh Knap (1987). Di situasi lain, Guzman *et al.* (1991) melaporkan bahwa jenis karang bercabang (*branching*) lebih mampu bertahan terhadap minyak daripada jenis-jenis karang *massive*. Berdasarkan informasi ini dapat direkomendasikan upaya

pengelolaan dengan pendekatan ekologi bagi wilayah yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap tumpahan minyak yaitu dengan melakukan transplantasi jenis karang bercabang (*branching*) dan *Diploria* (*brain coral*). Dengan adanya jenis-jenis yang dapat bertahan dalam kejadian tumpahan minyak diharapkan dapat mempercepat proses pemulihan (*recovery*).

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis kerentanan ekosistem terumbu karang di Kepulauan Seribu diketahui terdapat beberapa parameter yang dapat dijadikan kunci untuk pengelolaan kondisi kerentanan tersebut. Parameter dalam kategori keterpaparan (tipe pasut, tunggang pasang, tinggi gelombang, kedalaman habitat dan tipe substrat) merupakan kondisi alamiah yang tidak dapat direkayasa untuk menghasilkan tingkat keterpaparan yang lebih rendah. Parameter dalam kategori kepekaan (tipe pertumbuhan terumbu karang, kelandaian, persen tutupan, kerapatan, status perlindungan, spesies yang dilindungi dan kelimpahan ikan) juga merupakan kondisi alamiah. Dalam hal tipe pertumbuhan terumbu karang, dan kelandaian merupakan kondisi alamiah yang sudah ada seperti itu.

Kondisi tutupan terumbu karang, kerapatan, kelimpahan ikan dan keberadaan spesies yang dilindungi juga merupakan kondisi alami yang mencerminkan kepekaan ekosistem. Semakin baik kondisi parameter tersebut maka semakin tinggi nilai sensitifitasnya, artinya semakin tinggi tingkat kualitas lingkungannya.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, upaya pengelolaan yang paling sesuai dalam kasus ini adalah pengelolaan kemampuan adaptasi dari sistem sosial-ekologi untuk menghadapi ancaman tumpahan minyak. Mendorong pemerintah dan pelaku usaha migas serta transportasi laut untuk memperkuat sistem tanggap darurat untuk penanganan tumpahan minyak. Dengan sistem penanganan ini peluang dan risiko paparan tumpahan minyak pada kawasan

ekosistem terumbu karang menjadi berkurang.

Keberadaan lembaga konservasi sangat penting dalam upaya rehabilitasi pasca kejadian tumpahan minyak. Semakin dekat upaya konservasi tersebut dilakukan oleh masyarakat maka semakin kuat daya adaptasi sistem terhadap gangguan. Terumbu karang yang telah rusak akibat tumpahan minyak akan membutuhkan berdekade waktu untuk dapat pulih. Upaya rehabilitasi seperti transplantasi dan lainnya dapat mempercepat upaya rekolonisasi di area yang rusak oleh tumpahan minyak. Area yang terlindungi (*protected area*) mempunyai peluang *recovery* lebih baik dibanding area lainnya (Loya, 1976; Sloan, 1993).

Westmacott *et al.* (2000) juga menyebutkan bahwa Daerah Perlindungan Laut (DPL) dapat memegang peranan yang semakin penting bagi pelestarian dan pengelolaan terumbu karang yang rusak. DPL dapat melindungi daerah terumbu karang yang tidak rusak yang dapat menjadi sumber larva dan sebagai alat untuk membantu pemulihan dan melindungi daerah yang bebas dari dampak manusia dan cocok sebagai substrat bagi penempelan karang dan pertumbuhan kembali.

Peningkatan kapasitas adaptif lainnya adalah memperkuat aspek sosial-ekonomi masyarakat. Pengalaman - pengalaman terdampak akibat tumpahan minyak bagi masyarakat Kepulauan Seribu membuat masyarakat familiar dan dapat memberikan respon yang cepat dan efektif jika terjadi tumpahan minyak di wilayah mereka. Hal seperti ini dapat menjadi pembelajaran bagi wilayah-wilayah lain yang berpotensi terancam tumpahan minyak namun masyarakatnya belum memiliki pengalaman bagaimana berhadapan dengan tumpahan minyak. Selain itu, secara ekonomi masyarakat Kepulauan Seribu dengan didukung oleh kemudahan aksesibilitas, sehingga ketergantungan ekonomi terhadap terumbu karang pada beberapa wilayah sudah mulai berkurang. Masyarakat Kepulauan Seribu sudah memiliki pola peng-

hasilan yang beragam, tidak hanya bergantung pada satu sumber penghasilan. Hal ini mungkin akan berbeda di daerah lain yang belum mendapatkan manfaat dari ekowisata dan hanya menggantungkan sumber ekonominya dari memanfaatkan sumber daya di laut sebagai penghasilan utama.

Pengelolaan kerentanan dengan mengacu pada parameter kapasitas adaptif yang digunakan dalam penelitian ini memberikan implikasi pengelolaan kerentanan secara terintegrasi. Dimana parameter perangkat tumpahan minyak yang merupakan kewenangan dan kewajiban SKK Migas dengan perusahaan migas; parameter institusi konversi yang merupakan ranah BTNKpS, LSM dan kelompok masyarakat; serta parameter respon masyarakat dan ketergantungan ekonomi merupakan ranahnya masyarakat Kepulauan Seribu. Melalui informasi yang dihasilkan dari penelitian ini, institusi yang berwenang dalam upaya penanganan tumpahan minyak dapat menentukan prioritas penanganan. Upaya kolaborasi dengan masyarakat dalam rangka mengedukasi masyarakat bagaimana memberikan respon dan melaporkan ketika mengetahui adanya kasus tumpahan minyak.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus diatas dapat diketahui indeks kerentanan ekosistem terumbu karang terhadap tumpahan minyak yang disusun atas beberapa parameter yang terbagi dalam kategori keterpaparan, kepekaan dan kapasitas adaptif. Berdasarkan indeks kerentanan yang dibangun, ekosistem terumbu karang di Kepulauan Seribu memiliki kerentanan tinggi terhadap tumpahan minyak khususnya di Pulau Belanda, dibandingkan dengan Pulau Pramuka yang termasuk dalam status kerentanan sedang. Karakteristik kapasitas adaptif diperkirakan memberikan peranan penting terhadap perbedaan tingkat kerentanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari tesis penulis pertama pada Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan (SPL-IPB). Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. EOS Consultants atas beasiswa sekolah pascasarjana yang diberikan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adger, W.N., N.W. Arnell, and E.L. Tompkins. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 15:77–86.
- Adger, WN. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3): 268–281.
- Bak RPM. 1987. Effects of chronic oil pollution on Caribbean coral reef. *Marine Poll. Bull.* 18: 534-539. In *Effects of Oil on Marine Resources: A Worldwide Literature Review Relevant to Indonesia*. Sloan NA. 1993. EMDI Environmental Report. 26p.
- Ballou, T.G., R.E. Dodge, S.C. Hess, A.H. Knap, and T.D. Sleeter. 1987. Effects of a dispersed and undispersed crude oil on mangroves, seagrasses and corals. American Petroleum Institute Publication No. 4460. Washington: Am. Petroleum Inst. 226p.
- Badan Pengawas Kegiatan Hulu Minyak dan Gas Bumi (BPMigas). 2010. Report Acceleration For Establishment Of Tier-2 Oil Spill Response Center For Upstream Oil And Gas. Jakarta. 347p.
- Badan Pengawas Kegiatan Hulu Minyak dan Gas Bumi (BPMigas). 2011. Pedoman Tata Kerja Nomor: PTK-005/BP00000/2011 (revisi 01) tentang Penanggulangan Tumpahan Minyak. Jakarta. 36hlm.
- Brown, B.E. 1997. Disturbances to reefs in recent times. In Birkeland C ed, Life

- and death of coral reefs. *Hlm.*: 373-374.
- Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu (BTNKpS). 2011. Review rencana pengelolaan taman nasional (RPTN) Kepulauan Seribu Periode Tahun 1999 s/d 2019 Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi DKI Jakarta. 159hlm.
- Chapin, F.S., G.P. Kofinas, and C. Folke. 2009. Principle of Ecosystem Stewardship. Resilience-Based Natural Resources Management in a Changing World. Springer. New York. 409p.
- Cinner, J.E., T.R. McClanahan, N.A.J. Graham, T.M. Daw, J. Maina, S.M. Stead, A. Wamukota, K. Brown, and O. Bodin. 2011. Vulnerability of Coastal Communities to key impacts of Climate Change on Coral Reef Fisheries. *Global Enviro. Change*: 09-18pp.
- Cinner, J.E., T. McClanahan, A. Wamukota, E. Darling, A. Humphries, C. Hicks, C. Huchery, N. Marshall, T. Hempson, N. Graham, Ö Bodin, T. Daw, and E. Allison. 2013. Social-ecological vulnerability of coral reef fisheries to climatic shocks. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1082*. Rome, FAO. 63p.
- Dahuri, R., Y. Rais, S.G. Putra, dan M.J. Sitepu. 2008. Pengelolaan sumber daya wilayah pesisir dan Lautan Secara Terpadu. Jakarta. PT Pradnya Paramita. 305p.
- De Lange, H.J., V.D.P. JJC, J. Lahr, and J.H. Faber. 2006. Ecological vulnerability in wildlife. A conceptual approach to assess impact of environmental stressors. *Alterra report 1305*. Wageningen, The Netherlands: Alterra. 112 pp.
- De, L.V.J. 2006. *Vulnerability*. A Conceptual and Methodological Review. *SOURCE No. 4*. UNU-EHS. Bonn. 64p.
- DeLeo, D.M., D.V. Ruiz-Ramos, I.B. Baums, and E.E. Cordes. 2015. Response of deep-water corals to oil and chemical dispersant exposure. *Deep-Sea Res. II Top Stud Oceanogr.*
- Departemen Kehutanan (DEPHUT). Siaran Pers No: S.666/II/PIK-1/2004. 10 November 2004. <http://www.dephut.go.id/index.php/news/details/1645>. [Retrieved on 7 April 2016].
- Dinas Hidrografi dan Oseanografi – TNI Angkatan Laut (Dishidros TNI-AL). 2013. Daftar Pasang Surut Tahun Dishidros TNI-AL. Jakarta. 686hlm.
- English S., C.R. Wilkinson, and V.J. Baker. 1994. Survey Manual for Tropical Marine Resources. Australian Institute of Marine Science. Townsville. 368p.
- Estradivari, E. Setyawan, dan S. Yusri. 2009. Terumbu karang Jakarta: pengamatan jangka panjang terumbu karang Kepulauan Seribu (2003-2007). Yayasan TERANGI. Jakarta. 102hlm.
- Fabricius, K.E., O.H. Guldberg, J. Johnson, L. McCook, and J. Lough. 2007. Vulnerability of coral reefs of the great barrier reef to climate change. 3rd. *Climate Change and The Great Barrier Reef: A Vulnerability Assessment*. 516-554pp.
- Farhan, A.R. and S. Lim. 2012. Vulnerability assessment of ecological condition in Seribu Islands, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 65:1-14.
- Folke, C. 2003. Freshwater for resilience: A shift in thinking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 358:2027–2036.
- Fuick, K.W., T.J. Bright, and K.S. Goodman. 1984. Measurement of damage, recovery, and rehabilitation of coral reefs exposed to oil. In *Effects of Oil on Marine Resources: A Worldwide Literature Review Relevant to Indonesia*. Sloan NA. 1993. EMDI Environmental Report. 26p.

- Gibb, J., A. Sheffield, and G. Foster. 1992. A standardised coastal sensitivity index based on an initial framework for physical coastal hazards information. Science and Research Series No. 55. Departemen of Conservation. Wellington, NZ. 101p.
- Google Earth (US). 2016. Imagery Capture diakses Februari 2016. US Department of State Geographer. Google ©2016. ??p.
- Gundlach, E.R., and M.O. Hayes. 1978. Vulnerability of Coastal Environment to Oil Spill Impacts. *Marine Technology Society J.*, 4:18-27.
- Guzman, H.M., J.B.C. Jackson, and E. Weil. 1991. Short-term ecological consequences of major oil spill on Panamanian subtidal reef corals. *Coral reefs*, 10: 1-12.
- Haapkyla, J., F. Ramade, and B. Salvat. 2007. Oil Pollution on coral reefs: A review of the state of knowledge and management needs. *Vie Et Milieu. Life and environment*, 57(1):91-107.
- Halpren, B.S., K.A. Selkoe, F. Micheli, and C.V. Kappel. Evaluating and Ranking the vulnerability of Global Marine Ecosystems to Anthropogenic Threats. *Conservation Biology*, 21(5): 1301-1315.
- Hatcher, B.G., R.E. Johannes, and A.I. Robertson. 1989. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanography and Marine Biol. Ann. Rev.*, 27: 337-414.
- Hawker, B.G. and D.W. Connel. 1992. Standards and criteria for pollution control in coral reef areas. In *Effects of Oil on Marine Resources: A Worldwide Literature Review Relevant to Indonesia*. Sloan NA. 1993. EMDI Environmental Report. 26.
- Hughes, T.P., D.R. Bellwood, C. Folke, R.S. Steneck, and J. Wilson. 2005. New Paradigms for Supporting the Resilience of Marine Ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* (20) No. 7:380 – 386.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association/ International Maritime Organisation (IPIECA) 1992. *Biological Impacts Of Oil Pollution: Coral Reefs*. Report Series 3. 16p.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association/ International Maritime Organisation (US) (IPIECA/IMO). 1994. *Sensitivity Mapping For Oil Spill Response*. Report Series 3. 24p.
- International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), International Maritime Organisation (IMO), International Association of Oil and Gas Producers (OGP). 2012. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. 33p.
- Knap, A.H. 1987. Effects of chemically dispersed oil on brain coral, *Diploria strigosa*. *Marine Poll. Bull.* 18: 119-122.
- Kohler, K.E., and S.M. Gill. 2006. Coral point count with excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32:1259-1269.
- Kurniawan, F., L. Adrianto, D.G. Bengen, and L.B. Prasetyo. 2016. Vulnerability assessment of small islands to tourism: The case of marine tourism park of the Gili Matra islands, Indonesia. *Global Ecology and Conservation*, 6: 306-326.
- Loya, Y. 1976. Recolonization of Red Sea corals affected by natural catastrophes and manmade perturbations. *Ecology*, 57:278-289.
- Loya, Y., and B. Rinkevich. 1980. Effects of oil pollution on coral reef communities. *Mar Ecol Prog Ser*, 3: 167-180.
- McClanahan, T., N. Polunin, and T. Done. 2002. Ecological states and the

- resilience of coral reefs. *Conservation Ecology*, 6(2):18-44.
- Moberg, F. and C. Folke. 1999. *Ecological goods and services of coral reef ecosystem*. *Ecological Economics*, 29:215-233.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2010. Oil Spills in Coral Reef. Planning and Response Considerations. US. 84p.
- Nontji, A. 2005. Laut nusantara. ed. rev. cet. 4. Jakarta. 356hlm.
- Nybakken, J.W. 1992. Biologi laut: suatu pendekatan ekologis. PT. Gramedia. Jakarta. 459p.
- Pariwono, J.I. 1989. Kondisi Pasang-surut di Indonesia. ASEAN- Australia Cooperative Programs on Marine Science. Project 1: *Tides and Tidal Phenomena*. Pasang Surut. Penyunting: Otto S.R. Ongkosongo dan Suyarso. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Jakarta. 135-147: ISBN: 979-8105-00-1. 257hlm.
- Pratt, C.R., U.L. Kaly, and J. Mitchell. 2004. Manual: How to Use the Environmental Vulnerability Index (EVI). SOPAC Technical Report 383. United Nations Environment Programme (UNEP). South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC). 60p.
- Schroter, D., C. Polsky, and A.G. Patt. 2005. Assessing vulnerabilities to the effects of global change: An eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10:573-596.
- Schallier, R., W. Roy, and M.V. Cappellen. 2013. Technical Sub-report 6: Development of an Environmental and Socioeconomic Sensitivity Methodology. Be Aware, Bonn Agreement Belgium. 26p.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. of Sedimentary Petrology*, 24:151-158.
- Sloan, N. 1993. Berbagai dampak minyak terhadap sumberdaya laut: suatu tinjauan pustaka dari seluruh dunia yang relevan bagi Indonesia. Jakarta: EMDI Environmental Report. 65hlm.
- South of Pacific Islands Applied Geoscience Commission (SOPAC). 2005. Environmental Vulnerability Index: Description of Indicators. UNEP-SOPAC. 61p.
- Tahir, A., M. Boer, S.B. Susilo, and I. Jaya. 2009. Indeks kerentanan pulau-pulau kecil: kasus pulau barrang lompo Makasar. *Ilmu Kelautan*, 14(4): 8-13.
- Turner, B.L., R.E. Kasperson, P.A. Matsone, J.J. McCarthy, R.W. Corellg, L. Christensene, N. Eckley, J.X. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, Polsky, C. Pulsipher, A. Schiller. 2003. A Framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS.*, 100(14):8074-8079.
- Walker, B.H. and J.A. Meyers. 2004. Thresholds in ecological and social-ecological systems: A developing database. *Ecology and Society*, 9(2):3-16.
- Wardiatno, Y., C. Irfangi, and T. Hestrianoto. 2010. Dolphins encountered in Kepulauan Seribu. *Ilmu Kelautan*, 15(4): 202-213.
- Westmacott, S., K. Teleki, S. Wells, dan J.M. West. 2000. Pengelolaan terumbu karang yang telah memutih dan rusak kritis. Jakarta. 36hlm.
- Wyrtki, K. 1961. Physical oceanography of the southeastasian waters. NAGA Report. 2nd ed. Scientific result of marine investigation of the South China Sea and the Gulf of Thailand, Scripps Institute of Oceanography, La Jolla. California. 195p.

Diterima : 8 April 2016
 Direview : 25 April 2016
 Disetujui : 20 Mei 2017

